

n)

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号
特開2002-57622
(P2002-57622A)

(43)公開日 平成14年2月22日(2002.2.22)

(51)Int.Cl.⁷

識別記号

F I

テーマコード(参考)

H 0 4 B 10/02
10/18
H 0 4 J 14/00
14/02

H 0 4 B 9/00

M 5 K 0 0 2
E

審査請求 未請求 請求項の数4 O L (全 25 頁)

(21)出願番号 特願2000-238349(P2000-238349)

(22)出願日 平成12年8月7日(2000.8.7)

(71)出願人 000005223

富士通株式会社

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番
1号

(72)発明者 大井 寛己

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番
1号 富士通株式会社内

(72)発明者 石川 丈二

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番
1号 富士通株式会社内

(74)代理人 100075384

弁理士 松本 昂

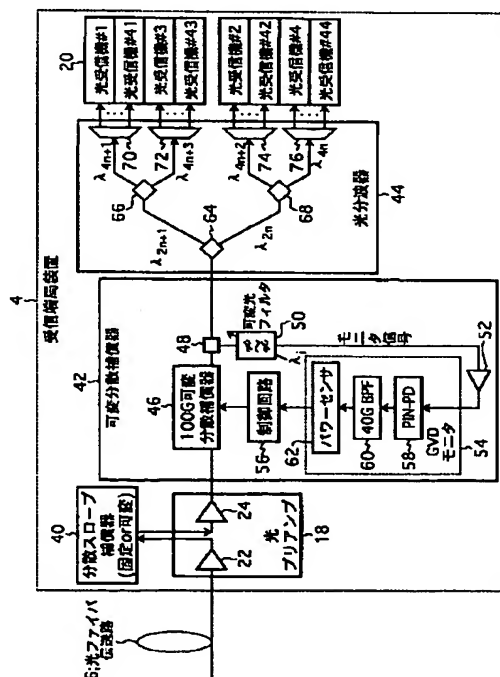
Fターム(参考) 5K002 AA01 AA03 AA06 CA01 CA13
DA02 FA01

(54)【発明の名称】 波長分散を補償する方法及びシステム

(57)【要約】

【課題】 本発明は波長分散を補償する方法及びシステムに関し、WDM伝送システムにおいて、高速化に適した波長分散を保証する方法及びシステムの提供が課題である。

【解決手段】 本発明による方法は、異なる波長を有する複数の光信号を波長分割多重してWDM信号光を生成するステップと、WDM信号光を光ファイバ伝送路により伝送するステップと、伝送されたWDM信号光を受信するステップとを備えており、受信するステップは、複数の光信号の少なくとも1つに関連する波長分散を検出するステップと、検出された波長分散が小さくなるように波長分散量及び分散スロープ量が制御される可変分散補償器を提供するステップとを含む。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 異なる波長を有する複数の光信号を波長分割多重してWDM信号光を生成するステップと、上記WDM信号光を光ファイバ伝送路により伝送するステップと、

上記光ファイバ伝送路により伝送されたWDM信号光を受信するステップとを備え、

上記受信するステップは、上記複数の光信号の少なくとも1つに関連する波長分散を検出するステップと、検出された波長分散が小さくなるように波長分散量及び分散スロープ量が制御される可変分散補償器を提供するステップとを含む方法。

【請求項2】 異なる波長を有する複数の光信号を波長分割多重してWDM信号光を生成するステップと、上記WDM信号光を光ファイバ伝送路により伝送するステップと、

上記光ファイバ伝送路により伝送されたWDM信号光を受信するステップとを備え、

上記受信するステップは、上記複数の光信号の少なくとも1つに関連する波長分散を検出するステップと、検出された波長分散が小さくなるように波長分散量が制御される可変分散補償器を提供するステップと、分散スロープを補償する分散スロープ補償器を提供するステップとを含む方法。

【請求項3】 異なる波長を有する複数の光信号を波長分割多重してWDM信号光を生成する送信端局装置と、上記WDM信号光を伝送する光ファイバ伝送路と、上記光ファイバ伝送路により伝送されたWDM信号光を受信する受信端局装置とを備え、

上記受信端局装置は、上記複数の光信号の少なくとも1つに関連する波長分散を検出する分散モニタと、可変分散補償器と、検出された波長分散が小さくなるように上記可変分散補償器の波長分散量及び分散スロープ量を制御する回路とを含むシステム。

【請求項4】 異なる波長を有する複数の光信号を波長分割多重してWDM信号光を生成する送信端局装置と、上記WDM信号光を伝送する光ファイバ伝送路と、上記光ファイバ伝送路により伝送されたWDM信号光を受信する受信端局装置とを備え、

上記受信端局装置は、上記複数の光信号の少なくとも1つに関連する波長分散を検出する分散モニタと、可変分散補償器と、検出された波長分散が小さくなるように上

$$\begin{aligned} (\text{波長分散変化量}) &= (\text{零分散波長の温度依存性}) \times (\text{伝送路の温度変化量}) \\ &\quad \times (\text{伝送路の分散スロープ}) \times (\text{伝送距離}) \\ &= 0.03 (\text{nm}/^{\circ}\text{C}) \times 100 (^{\circ}\text{C}) \times 0.07 (\text{ps} \\ &\quad / \text{nm}^2 / \text{km}) \times 500 (\text{km}) \\ &= 105 \text{ ps} / \text{nm} \end{aligned}$$

また、WDM光伝送システムにおいては、後で詳しく説明するように、波長分散のみならず分散スロープ（分散傾斜又は二次分散）をも考慮する必要がある。これは、

記可変分散補償器の波長分散量を制御する回路と、分散スロープを補償する分散スロープ補償器とを含むシステム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、波長分散を補償する方法及びシステムに関する。

【0002】

【従来の技術】近年の急激なネットワーク利用の増加により、更なるネットワークの大容量化に対する要求が高まっている。現在では、1チャンネル当たり伝送速度10Gb/sをベースとした波長分割多重（WDM）光伝送システムが実用化されている。今後、更なる大容量化が必要とされ、周波数利用効率及びコストの点から1チャンネル当たり40Gb/s以上の超高速伝送システムが求められている。超高速伝送システムにおいては、光ファイバ伝送路の波長分散に起因する波形劣化を高精度に補償する必要がある。本発明は、WDM光伝送システムにおいて、波長分散補償を最適に行うための技術である。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】伝送速度が10Gb/s以上の光伝送システムにおいては、波長分散トレランスが非常に小さい。例えば、40Gb/s NRZシステムにおける波長分散トレランスは100ps/nm以下である。一方、陸上光伝送システムの場合、中継区間は必ずしも一定ではなく、約17ps/nm/kmの1.3μm零分散シングルモードファイバ（SMF）を用いている場合、伝送距離が数km異なっただけで、波長分散トレランスを逸脱してしまう。

【0004】しかしながら、通信キャリアが所有している光ファイバネットワークにおいては、中継区間毎の距離や波長分散値の多くが正確に把握されていないのが現状である。また、波長分散値はファイバの温度や応力等により経時的に変化するので、システム運用開始時だけでなく、システム運用中も波長分散量を厳密に測定しながら、中継区間毎に分散補償量を適切に制御することが必要とされる。例えば、分散シフトファイバ（DSF）を用いた500kmの伝送路において100℃の温度変化が生じる場合、波長分散変化量は40Gb/s NRZ信号の波長分散トレランスとほぼ同等の約105ps/nmとなる。

【0005】

WDM光伝送システムにおいては、異なる波長を有する複数の光信号が波長分割多重されており、各チャンネルの光信号が受ける波長分散が異なるからである。

【0006】よって、本発明の目的は、WDM光伝送システムにおいて高速化に適した波長分散を補償する方法及びシステムを提供することである。

【0007】

【課題を解決するための手段】本発明の第1の側面によると、異なる波長を有する複数の光信号を波長分割多重してWDM信号光を生成するステップと、上記WDM信号光を光ファイバ伝送路により伝送するステップと、上記光ファイバ伝送路により伝送されたWDM信号光を受信するステップとを備え、上記受信するステップは、上記複数の光信号の少なくとも1つに関連する波長分散を検出するステップと、検出された波長分散が小さくなるように波長分散量及び分散スロープ量が制御される可変分散補償器を提供するステップとを含む方法が提供される。

【0008】本発明の第2の側面によると、異なる波長を有する複数の光信号を波長分割多重してWDM信号光を生成するステップと、上記WDM信号光を光ファイバ伝送路により伝送するステップと、上記光ファイバ伝送路により伝送されたWDM信号光を受信するステップとを備え、上記受信するステップは、上記複数の光信号の少なくとも1つに関連する波長分散を検出するステップと、検出された波長分散が小さくなるように波長分散量が制御される可変分散補償器を提供するステップと、分散スロープを補償する分散スロープ補償器を提供するステップとを含む方法が提供される。

【0009】本発明の第3の側面によると、異なる波長を有する複数の光信号を波長分割多重してWDM信号光を生成する送信端局装置と、上記WDM信号光を伝送する光ファイバ伝送路と、上記光ファイバ伝送路により伝送されたWDM信号光を受信する受信端局装置とを備え、上記受信端局装置は、上記複数の光信号の少なくとも1つに関連する波長分散を検出する分散モニタと、可変分散補償器と、検出された波長分散が小さくなるように上記可変分散補償器の波長分散量及び分散スロープ量を制御する回路とを含むシステムが提供される。

【0010】本発明の第4の側面によると、異なる波長を有する複数の光信号を波長分割多重してWDM信号光を生成する送信端局装置と、上記WDM信号光を伝送する光ファイバ伝送路と、上記光ファイバ伝送路により伝送されたWDM信号光を受信する受信端局装置とを備え、上記受信端局装置は、上記複数の光信号の少なくとも1つに関連する波長分散を検出する分散モニタと、可変分散補償器と、検出された波長分散が小さくなるように上記可変分散補償器の波長分散量を制御する回路と、分散スロープを補償する分散スロープ補償器とを含むシステムが提供される。

【0011】

【発明の実施の形態】以下、添付図面を参照して本発明の望ましい実施の形態を詳細に説明する。

【0012】図1はシステムの第1実施形態を示すブロック図である。ここでは、1波の無中継伝送システムが例示されている。このシステムは、送信端局装置2と、受信端局装置4と、端局装置2及び4間に敷設される光ファイバ伝送路6とを備えている。

【0013】送信端局装置2は、波長 λ の光信号を出力する光送信機8と、光送信機8から出力された光信号を増幅して光ファイバ伝送路6に送出する光ポストアンプ10とを含む。光ポストアンプ10は前段の光増幅器12と後段の光増幅器14とを含み、光増幅器12及び14間には固定又は可変の分散補償器16が挿入される。光ポストアンプ10は2段以外の段数で構成されることもあり得る。また、分散補償器16の位置も、各光増幅器の前段、後段等別の配置になることがあり得る。その点は光プリアンプや光インラインアンプも同様であり、以下の他の実施形態でも同様である。

【0014】受信端局装置4は、光ファイバ伝送路6により伝送された光信号を増幅する光プリアンプ18と、光プリアンプ18から出力された光信号を受信する光受信機20とを含む。光プリアンプ18は前段の光増幅器22と後段の光増幅器24とを含み、光増幅器22及び24間には可変分散補償器26が挿入される。光増幅器12、14、22及び24の各々としては、例えばエルビウムドープファイバ増幅器(EDFA)が用いられる。

【0015】図2はシステムの第2実施形態を示すブロック図である。ここでは、1波の中継伝送システムが例示されている。このシステムは、図1に示されるシステムと対比して、光ファイバ伝送路6の途中に少なくとも1つの線形中継装置28が付加的に設けられている点で特徴付けられる。線形中継装置28は、光ファイバ伝送路6に接続されて光信号を増幅する光インラインアンプ30を含む。光インラインアンプ30は前段の光増幅器32と後段の光増幅器34とを含み、光増幅器32及び34間には固定又は可変の分散補償器36が挿入される。

【0016】図3はシステムの第3実施形態を示すブロック図である。ここでは、WDMの無中継伝送システムが例示されている。このシステムにおいては、WDMに適合するために、図1に示されるシステムと対比して送信端局装置2及び受信端局装置4が改変されている。

【0017】送信端局装置2においては、異なる波長 $\lambda_1, \dots, \lambda_n$ の光信号をそれぞれ出力する光送信機8(#1, ..., #n) が用いられている。光送信機8(#1, ..., #n) から出力された光信号は光合波器(光マルチプレクサ)38により波長分割多重され、その結果得られたWDM信号光は光ポストアンプ10により増幅されて光ファイバ伝送路6に送出される。光ポストアンプ10においては、図1に示されるシステムと同様固定又は可変の分散補償器16が採用される。

【0018】受信端局装置4においては、光ファイバ伝送路6により伝送されたWDM信号光は、光アリアンプ18により増幅されて可変分散補償器42を通る。光アリアンプ18においては、前段の光増幅器22と後段の光増幅器24との間には固定又は可変の分散スロープ補償器40が挿入される。

【0019】分散補償器42を通ったWDM信号光は、光分波器（光デマルチプレクサ）44により個々の光信号に分けられ、これらの光信号はそれぞれ光受信機20（＃1，…，＃n）に供給される。

【0020】図4はシステムの第4実施形態を示すブロック図である。ここでは、WDMの中継伝送システムが例示されている。この実施形態は、図3の実施形態と対比して、図2に示されるのと同様な線形中継装置28が少なくとも1つ光ファイバ伝送路6の途中に付加的に設けられている点で特徴付けられる。

【0021】図3や図4に示されるシステムのようにWDM信号光を伝送する場合、光ファイバ伝送路6の波長分散のみならず分散スロープをも考慮する必要がある。

【0022】図5を参照すると、伝送路の温度変化及び伝送距離の変化による波長分散量の変化が示されている。図5に示されるグラフにおいて、縦軸は伝送路の波長分散（ps/nm）、横軸は信号光の波長（nm）である。温度変化に関しては、零分散波長の温度特性（約0.03nm/℃）により、波長分散特性（a）は（b）へとシフト（平行移動）する。この場合、分散スロープは変化しない。また、伝送距離が変化した場合、波長分散特性（a）は（c）へと変化する。この場合、分散量と共に分散スロープも変化する。

【0023】従って、超高速のWDMにおいては、波長分散のみならず分散スロープをも補償する必要がある。これを解決するために、以下の4つの方法が考えられる。

【0024】（1） 波長分散量と分散スロープ量を独立に可変することができる広帯域の可変分散補償器を実現して、全チャネルの光信号の分散補償を一括して行う。

【0025】（2） 波長分散量を可変することができる広帯域の可変分散補償器と、分散スロープ量を可変することができる広帯域の可変分散スロープ補償器を独立に配置して、全チャネルの光信号の分割補償を一括して行う。

【0026】（3） 波長分散量を可変することができる広帯域の可変分散補償器と、伝送路長に応じた分散スロープ量を有する固定分散スロープ補償器を独立に配置して、全チャネルの光信号の分散補償を一括して行う。

【0027】（4） 波長分散量を可変することができる可変分散補償器を各チャネルに個別に配置して分散補償を行う。

【0028】可変分散補償器の実現性に従って（1）～

（4）の選択がなされることになろうが、それに加えて何れの選択肢においても、分散モニタの配置方法が低コストを実現する鍵となる。

【0029】例えば、（1）又は（2）の場合には、WDMの複数チャネルの内両端などの少なくとも2チャネルに関して波長分散量を検出することができれば、外挿によって分散スロープがわかり、他のチャネルにおける波長分散量を検出することができる。

【0030】また、温度変動によっては伝送路の分散スロープ量は変化しないので、（3）の場合には、WDMの複数チャネルのうち中央のチャネルなど最低1つのチャネルでの波長分散量を検出することができれば、その波長分散量と既知の分散スロープ量から、他の信号波長における波長分散量を検出することができる。

【0031】更に、（4）の場合においては、分散スロープ量（又は伝送路長）が既知である場合には、最低1つのチャネルでの波長分散値を検出することができれば、或いは、分散スロープ量が未知である場合には、最低2つのチャネルでの波長分散値を検出することができれば、外挿によって他のチャネルにおける波長分散量を検出することができる。

【0032】図6は受信端局装置の第1実施形態を示すブロック図である。より特定的には、図3等々に示されている受信端局装置4の具体的構成が示されている。

【0033】可変分散補償器42は、100G可変分散補償器46と、補償器46の出力からモニタ光を抽出する光カプラ48と、モニタ光が透過する可変光フィルタ50と、フィルタ50の出力を増幅する光増幅器52と、光増幅器52の出力が供給される分散モニタ（GVDMONIT）54と、モニタ54の出力に基づいて補償器46を制御する制御回路56とを含む。分散モニタ54は、光増幅器52の光出力を電気信号に変換するPIN-PD（フォトダイオード）58と、PIN-PD58の出力から40GHzの成分を抽出するバンドパスフィルタ（BPF）60と、バンドパスフィルタ60の出力のパワー又は強度を検出するパワーセンサ62とを含む。

【0034】例えば、1チャネル当たり40Gb/sのWDM信号光におけるチャネル間隔が100GHzである場合、100GHz間隔で透過特性が最適化された100G可変分散補償器46を用いて波長分散を与え、固定又は可変の分散スロープ補償器40を用いて分散スロープを与えることができる。

【0035】図7を参照すると、100G可変分散補償器46の例としてVIPA（Virtually Imaged Phase Array）を用いた構成が示されている。この構成は、光サーキュレータ78と光ファイバ80とコリメーティングレンズ82とセミシリンドリカルレンズ84とガラス板86とフォーカシングレンズ88とミラー90とを光軸上にこの順に配置して構

成される。

【0036】光サーキュレータ78はポート78A、78B及び78Cを有しており、ポーと78Aに供給された光をポート78Bから出力し、ポート78Bに供給された光をポート78Cから出力するように機能する。従って、ポート78A及び78Cをそれぞれ入力及び出力として用いることができる。

【0037】ガラス板86の入力側の面の上部86A、下部86B及び出力側の面86Cの反射率は、例えば、それぞれ100%、0%及び98%に設定されており、セミシリンドリカルレンズ84によるビームウエストが概ね面86Cに位置するように設定されている。尚、VIPAの付加的な詳細については、M. Shirasaki et al., "Dispersion Compensation Using The Virtually Imaged Phased Array", APCC/OECC'99, pp.1367-1370を参照されたい。

【0038】尚、図7の構成においては、フォーカシングレンズ88とミラー90の間の距離を固定にしてガラス板86との間の距離を変化させることによって、分散量を可変にすることができる。

【0039】次に、図6に示される分散モニタ54の動作原理について説明する。この動作原理は、Y. Akiyama et al., "Automatic Dispersion Equalization in 40 Gbit/s Transmission by Seamless-switching between Multiple Signal Wavelengths", ECOC'99, pp.1-150-151 に開示されている実験結果に基づいている。即ち、40Gb/sのNRZ光信号を、温度が可変(-35℃~+65℃)の恒温層内に収容された100kmのDSFにより伝送した後、図6に示されるような分散モニタによりモニタリングしたものである。

【0040】図8に示される計算結果のグラフから明らかのように、波長分散量に従って40GHz成分の強度が変化し、分散量0のときに40GHz成分の強度が0になる。

【0041】また、図9に示される実験結果のグラフにおいては、波長によって伝送路分散量が変化するため、計算結果とほぼ同様の40GHz成分の強度特性が得られる。伝送路零分散波長は、伝送路温度の変化と共に約0.03nm/℃で変化し、40GHz成分の強度の極小点もそれに追従して変化していることが確認される。

【0042】他の変調方式でも、Bb/s変調信号に対してはBHz成分強度を分散モニタ信号として用いることができることがわかっており、例えばRZ信号に関しては、波長分散0のときにBHz成分強度が極大になり、OTDM(光時分割多重)信号に対しては極小となることが知られている(特願平9-224056号)。

【0043】再び図6を参照すると、光分波器44は、WDM信号光を波長 λ_{2n+1} の光信号群と波長 λ_{2n} の光信号群とに分けるインターリーバ(100G/200G)

64と、 λ_{2n+1} の光信号群を波長 λ_{4n+1} の光信号群と波長 λ_{4n+3} とに分けるインターリーバ(200G/400G)66と、波長 λ_{2n} の光信号群を波長 λ_{4n+2} の光信号群と波長 λ_{4n} の光信号群とに分けるインターリーバ(200G/400G)68と、波長 λ_{4n+1} の光信号群を個々の光信号に分ける光デマルチプレクサ70と、波長 λ_{4n+3} の光信号群を個々の光信号に分ける光デマルチプレクサ72と、波長 λ_{4n+2} の光信号群を個々の光信号に分ける光デマルチプレクサ74と、波長 λ_{4n} の光信号群を個々の光信号に分ける光デマルチプレクサ76とを含む。

【0044】尚、図示された例では、光受信機20(#1, ..., #n)の数は44である。また、波長を表すために入に付与されているサフィックスにおけるnは光受信機20(#n)におけるnとは異なることに留意されたい。

【0045】図10は受信端局装置の第2実施形態を示すブロック図である。図6に示される実施形態では、可変光フィルタ50がWDM信号光の少なくとも1チャネルの光信号をモニタ光として透過させ、その波長分散の検出に基づいて制御回路56が可変分散補償器46を制御している。これに対して、図10に示される実施形態では、光分波器44の各チャネルの出力に光スイッチ92を設け、この光スイッチ92により少なくとも1チャネルの光信号をモニタ光として取り出すことができるようにしている。そして、そのモニタ光に従って分散モニタ54が波長分散量を検出し、その検出値に従って制御回路56が可変分散補償器46を制御することができる。

【0046】図11は受信端局装置の第3実施形態を示すブロック図である。この実施形態は、図10に示される実施形態において各光信号の波長分散のモニタリング結果に基づいて制御が行われるのとは対比して、光受信機20(#1, ..., #n)の各々において得られる分散モニタ信号(抽出クロック信号、符号誤り率特性、Q値等)に基づいて制御回路56が可変分散補償器46を制御している点で特徴付けられる。従って、この実施形態によると、可変分散補償器42内に分散モニタ54(例えば図10参照)を設ける必要がなくなる。

【0047】図12は受信端局装置の第4実施形態を示すブロック図である。ここでは、図6に示される光分波器44のインターリーバ64に対応するインターリーバ94を可変分散補償器42内に設け、奇数チャネルの光信号群は200G可変分散補償器96を通し、偶数チャネルの光信号群は200G可変分散補償器98を通すようにしている。補償器96及び98の出力はそれぞれ光分波器44のインターリーバ66及び68に供給される。

【0048】補償器98の出力からモニタ光が光カプラ100により抽出され、それに基づいて分散モニタ54

が少なくとも1チャネルの波長分散を検出し、その検出結果に基づいて制御回路56が補償器96及び98を制御する。図では補償器98の出力のみモニタしているが、図32に示されるように、補償器96及び98の両方に制御ループを設けて高精度な制御を可能にしてもよい。

【0049】図6に示される実施形態では、100GHz間隔で透過特性が最適化された100G可変分散補償器46が用いられているのに対して、図12に示される実施形態では、200GHz間隔で透過特性が最適化された200G可変分散補償器96及び98を用いることができるので、補償器の帯域特性の確保が容易になる。インターリーブを更に多段化して(400GHz間隔、800GHz間隔、…)、より波長間隔の大きい補償器を用いることもできる。

【0050】尚、図10に示される光スイッチを用いる構成を図12の実施形態に適用しても良い。

【0051】図13は受信端局装置の第5実施形態を示すブロック図である。この実施形態は、可変分散補償器42及び分散スロープ補償器40を光プリアンプ18の前段光増幅器22と後段光増幅器24との間に挿入している点で特徴付けられる。分散スロープ補償器40の出力からモニタ光が抽出され、それに基づいた波長分散のモニタリングに基づいて100G可変分散補償器46が制御される。この構成によっても、全チャネルの分散補償を効果的に行うことができる。

【0052】尚、図10に示される実施形態におけるような光スイッチを図13の実施形態に適用しても良い。

【0053】図14は受信端局装置の第6実施形態を示すブロック図である。ここでは、可変分散補償器42及び分散スロープ補償器40を光プリアンプ18と光分波器44との間に挿入している。分散スロープ補償器40の出力からモニタ光が抽出され、その波長分散のモニタリングに基づいて100G可変分散補償器46が制御される。この構成によっても全チャネルの分散補償を効果的に行うことができる。

【0054】尚、図10に示されるような光スイッチを図14の実施形態に適用しても良い。

【0055】図15は受信端局装置の第7実施形態を示すブロック図である。この実施形態は、図12に示される実施形態と対比して、各々分散スロープ可変の200G可変分散補償器96⁻及び98⁻が用いられている点で特徴付けられる。WDM信号光の少なくとも2つのチャネルに対応する分散のモニタリング値から受けた分散スロープ量を検出することによって、補償器96⁻及び98⁻により分散の補償及び分散スロープの補償が可能になる。より特定的には次の通りである。

【0056】光増幅器102により増幅されたモニタ光は、光カプラ104により二分岐されてそれぞれ光バンドパスフィルタ106及び108に供給される。光バン

ドパスフィルタ106を通過した波長 λ_i の光信号は第1のモニタ光として分散モニタ54(＃1)に供給され、光バンドパスフィルタ108を通過した波長 λ_j ($\neq \lambda_i$)の光信号は第2のモニタ光として分散モニタ54(＃2)に供給される。第1のモニタ光に関連する波長分散のモニタリング結果は分散モニタ54(＃1)から制御回路56⁻に供給され、第2のモニタ光に関連する波長分散のモニタリング結果は分散モニタ54(＃2)から制御回路56⁻に供給される。制御回路56⁻は、供給された2つの波長分散のモニタリング結果に基づき補償器96⁻及び98⁻における波長分散の補償量及び分散スロープの補償量を制御する。

【0057】この構成によると、補償器96⁻及び98⁻が分散だけでなく分散スロープをも補償することができるので、図12に示される分散スロープ補償器40を用いることなしにWDM信号光の全チャネルの分散補償を効果的に行うことができる。

【0058】図16は受信端局装置の第8実施形態を示すブロック図である。ここでは、光分波器44の出力で各チャネルの光信号に対して可変分散補償器42を設けている。可変分散補償器42は、例えば、図6に示される可変分散補償器42の構成から可変光フィルタ50を除くことによって得ることができる。この実施形態によると、分散スロープ補償器を用いることなしにWDM信号光の全チャネルの分散補償を効果的に行うことができる。

【0059】尚、図10に示される光スイッチを用いて、例えば1～2波長の分散モニタで全部の可変分散補償器を制御する実施形態或いは図11に示される各光受信機からのモニタ信号を用いる実施形態を図16に示される実施形態に適用しても良い。

【0060】図16では、各可変分散補償器毎に分散モニタを設けることが望ましいが、図33に示されるように、光受信機20の入力で光スイッチ300により取り出された2つのモニタ信号に基づき分散及び分散スロープを検出する2つのGVDモニタ302及び304を設け、それらの出力により制御回路306が可変分散補償器42を制御するようにしてもよい。

【0061】図17は受信端局装置の第9実施形態を示すブロック図である。光プリアンプ18から出力されたWDM信号光は、光フィルタ等を用いて構成される帯域分離部110により、波長 $\lambda_1 \sim \lambda_{11}$ の光信号群と、波長 $\lambda_{12} \sim \lambda_{22}$ の光信号群と、波長 $\lambda_{23} \sim \lambda_{33}$ の光信号群と、波長 $\lambda_{34} \sim \lambda_{44}$ の光信号群とに分離される。各光信号群は可変分散補償器42を通過して光分波器44に供給される。必要に応じて可変分散補償器42の入力又は出力に固定又は可変の分散スロープ補償器40が設けられる。

【0062】光分波器44は、各光信号群を個々の光信号に分ける4つの光デマルチプレクサ112, 114,

116及び118を含んでおり、分けられた光信号はそれぞれ光受信機20(#1, ..., #44)に供給される。

【0063】この実施形態によると、波長の長短に従って複数の(4つの)帯域に光信号群を分離しているので、各帯域毎に分散補償を一括して行うのが容易である。また、可変分散補償器42に要求される補償特性が緩和される。

【0064】図18は受信端局装置の第10実施形態を示すブロック図である。この実施形態は、図6に示される実施形態と対比して、光分波器44と光受信機20(#1, ..., #44)との間にPMD(偏波モード分散)補償器120(#1, ..., #44)がそれぞれ付加的に設けられている点で特徴付けられる。このようにして各チャンネルのPMDを補償することによって、WDM信号光の全チャンネルの分散補償を効果的に行うと共にPMDを補償して伝送品質を更に高めることができる。

【0065】図19はPMD補償器120の具体的構成例を示すブロック図である。PMD補償器120は、光信号を受ける偏波制御器122と、偏波制御器122の出力が供給されるPMF(偏波面維持ファイバ)124と、PMF124の出力からモニタ光を抽出する光カプラ126と、抽出されたモニタ光を増幅する光増幅器128と、光増幅器128の光出力を電気信号に変換するPIN-PD130と、PIN-PD130の出力信号が通過するバンドパスフィルタ132と、フィルタ132の出力のパワーを検出するパワーセンサ134と、パワーセンサ134の出力に基づき偏波制御器122を制御する制御回路136とを備えている。光信号のビットレートが40Gb/sであるので、ここではバンドパスフィルタ132の通過中心周波数は20GHzに設定されている。

【0066】尚、PMD補償器の動作原理等の付加的な詳細については特願平11-515959号に記載されている。

【0067】図20は図4等々に示される線形中継装置28に適用可能な分散補償器36の第1実施形態を示すブロック図である。この補償器36は、WDM信号光が通過するシリーズに接続された100G可変分散補償器138と固定又は可変の分散スロープ補償器140とを備えている。前に例示したのと同様1チャンネル当たり40Gb/sの光信号をチャンネル間隔100GHzで配置しているWDM信号光を伝送する場合、可変分散補償器138としては、例えば100GHz間隔で透過特性が最適化された補償器(例えばVIPAを用いたもの)を採用することができる。可変分散補償器138の分散補償量は例えばシステム運用開始時に最適値にプリセットすることができる。

【0068】図21は分散補償器36の第2実施形態を示すブロック図である。ここでは、図20に示される実

施形態と対比して、フィードバック制御を可能にするために、分散スロープ補償器140の出力からモニタ光を抽出する光カプラ142と、モニタ光からあるチャンネルの光信号を抽出する可変光フィルタ144と、フィルタ144の光出力を増幅する光増幅器146と、光増幅器146の光出力に基づき波長分散を検出する分散モニタ148と、検出された波長分散に基づき100G可変分散補償器138を制御する制御回路150とが付加的に設けられている。この構成によると、補償器138における分散補償量をフィードバック制御することが可能になるので、分散値のプリセットが不要である。

【0069】図22は分散補償器36の第3実施形態を示すブロック図である。ここでは、チャンネル間隔をGHz~200GHzにするためのインターリーバ152によりWDM信号光を奇数チャンネルの光信号群と偶数チャンネルの光信号群とに分け、奇数チャンネルの光信号群は200G可変分散補償器154に通し、偶数チャンネルの光信号群は200G可変分散補償器156に通すようにしている。補償器154及び156の出力はインターリーバ158により再び合成され、その結果得られたWDM信号光が分散スロープ補償器140に供給される。補償器154及び156における分散補償量はシステム運用開始時に最適値にプリセットすることができる。

【0070】この構成によると、図20に示される実施形態と対比してチャンネル間隔が倍になっているので、可変分散補償器154及び156の帯域特性の確保が容易になる。

【0071】尚、インターリーバを更に多段化して(400GHz間隔、800GHz間隔、...)、より波長間隔の大きい可変分散補償器を用いることもできる。

【0072】図23は分散補償器36の第4実施形態を示すブロック図である。ここでは、図22に示される実施形態と対比して、補償器154及び156のフィードバック制御を可能にするために、分散スロープ補償器140の出力からモニタ光を抽出する光カプラ142と、モニタ光からあるチャンネルの光信号を抽出する可変光フィルタ144と、フィルタ144の光出力を増幅する光増幅器146と、光増幅器146の光出力に基づき波長分散を検出する分散モニタ148と、分散モニタ148の出力に基づき200G可変分散補償器154及び156を制御する制御回路150とを付加的に設けている。

【0073】この実施形態によると、補償器154及び156の分散補償量のフィードバック制御が可能になるので、プリセットが不要である。

【0074】図24は図4等々に示される線形中継装置28の実施形態を示すブロック図である。ここでは、図21の実施形態に準じて図4に示される線形中継装置28の内部構成(配置形態等)が変更されている。

【0075】固定又は可変の分散スロープ補償器140は前段光増幅器32と後段光増幅器34の間に挿入され

ている。100G可変分散補償器138は後段光増幅器34の出力に接続されている。そして、100G可変分散補償器138の分散補償量が図21に示される実施形態に準じてフィードバック制御される。

【0076】この実施形態によると、分散スロープ補償器140及び可変分散補償器138等による損失を2箇所以上に分散させることができるので、光S/N比の劣化を緩和することができる。

【0077】図25は図4等々に示される送信端局装置2の第1実施形態を示すブロック図である。光合波器38は、図6等々に示される光分波器44と同様の構成を有している。即ち、光デマルチプレクサ70、72、74及び76にそれぞれ対応する光マルチプレクサ160、162、164及び166と、インターリーバ66及び68にそれぞれ対応するインターリーバ168及び170と、インターリーバ64に対応するインターリーバ172とが用いられている。

【0078】光送信機8（#1，…，#44）から出力された光信号は光合波器38により波長分割多重され、その結果得られたWDM信号光は100G可変分散補償器174を通して光ポストアンプ10に供給される。光ポストアンプ10の前段光増幅器12と後段光増幅器14との間には固定又は可変の分散スロープ補償器176が挿入されており、光ポストアンプ10の出力は光ファイバ伝送路6に供給される。

【0079】1チャンネル当たり40Gb/sの光信号をチャンネル間隔100GHzで波長分割多重してWDM信号光を得る場合、可変分散補償器174としては、100GHz間隔で透過特性が最適化された分散補償器（例えばVIPAを用いたもの）を採用することができ、その分散補償量はシステム運用開始時に最適値にプリセットすることができる。

【0080】図26は送信端局装置2の第2実施形態を示すブロック図である。ここでは、光合波器38のインターリーバ168から出力された奇数チャンネルの光信号群とインターリーバ170から出力された偶数チャンネルの光信号群とをそれぞれ200G可変分散補償器178及び180に通した後、インターリーバ172（図25参照）に対応するインターリーバ182により合波してWDM信号光を得ている。

【0081】この実施形態によると、可変分散補償器178及び180の各々を通過する光信号群のチャンネル間隔が図25に示される実施形態に比べて2倍であるので、可変分散補償器178及び180の帯域特性の確保が容易になる。

【0082】尚、インターリーバを更に多段化して、より波長間隔の大きい可変分散補償器を用いることも可能である。

【0083】図27は送信端局装置2の第3実施形態を示すブロック図である。この実施形態は、図25に示さ

れる実施形態と対比して、100G可変分散補償器174が分散スロープ補償器176と共に光ポストアンプ10の前段光増幅器12と後段光増幅器14の間にシリーズに挿入されている点で特徴付けられる。可変分散補償器174の分散補償量はシステム運用開始時に最適値にプリセットすることができる。

【0084】図28は送信端局装置2の第4実施形態を示すブロック図である。ここでは、光送信機8（#1，…，#44）のそれぞれに可変分散補償器174を適用して各チャンネルの光信号毎に分散補償を行うようにしている。従って、分散スロープ補償器は不要である。可変分散補償器174の分散補償量はシステム運用開始時にプリセットすることができる。

【0085】図29は送信端局装置2の第5実施形態を示すブロック図である。波長 $\lambda_1 \sim \lambda_{11}$ の光信号群と、波長 $\lambda_{12} \sim \lambda_{24}$ の光信号群と、波長 $\lambda_{25} \sim \lambda_{33}$ の光信号群と、波長 $\lambda_{34} \sim \lambda_{44}$ の光信号群とを得るために、この実施形態では、光合波器38は、光送信機8（#1，…，#11）に接続される光マルチプレクサ184と、光送信機8（#12，…，#22）に接続される光マルチプレクサ186と、光送信機8（#23，…，#33）に接続される光マルチプレクサ188と、光送信機8（#34，…，#44）に接続される光マルチプレクサ190とを含む。

【0086】それぞれの光信号群は、4つの可変分散補償器174により分散補償され、必要に応じてそれぞれ固定又は可変の分散スロープ補償器176を通してバンド多重部192で波長分割多重される。その結果得られたWDM信号光は光ポストアンプ10により増幅された後、光ファイバ伝送路6に送出される。

【0087】このように波長の長短に従って複数の波長体に光信号群を分離することによって、各可変分散補償器174に要求される補償特性が緩和される。可変分散補償器174の分散補償量はシステム運用開始時に最適値にプリセットすることができる。

【0088】図30は例えば図4に示されるシステムにおける分散補償のフィードバック制御を説明するためのブロック図である。線形中継装置28においては、可変分散補償器36の出力に基づき分散モニタ194が波長分散をモニタリングし、その結果に基づいて制御回路196が可変分散補償器36における分散補償量を制御する。一方、受信端局装置4においては、可変分散補償器42の出力に基づいて分散モニタ198が波長分散をモニタリングし、その結果に基づいて制御回路200が可変分散補償器42を制御する。

【0089】このように線形中継装置28及び受信端局装置4において独立に分散補償量のフィードバック制御を行うことができる。

【0090】図31は例えば図4に示されるシステムにおける分散補償量のフィードバック制御の他の例を説明

するためのブロック図である。ここでは、受信端局装置4における制御回路200の出力に基づき、線形中継装置28の可変分散補償器36における分散補償量を制御するようにしている。制御回路200から可変分散補償器36への制御データの伝送には、例えば光ファイバ伝送路6が上り回線である場合には、下り回線を用いることができる。このように、線形中継装置28及び受信端局装置4における分散補償量のフィードバック制御を一括して行うことによって、図30に示される分散モニタ194及び制御回路196が不要になる。

【0091】(付記1) 異なる波長を有する複数の光信号を波長分割多重してWDM信号光を生成するステップと、上記WDM信号光を光ファイバ伝送路により伝送するステップと、上記光ファイバ伝送路により伝送されたWDM信号光を受信するステップとを備え、上記受信するステップは、上記複数の光信号の少なくとも1つに関連する波長分散を検出するステップと、検出された波長分散が小さくなるように波長分散量及び分散スロープ量が制御される可変分散補償器を提供するステップとを含む方法。(1)

(付記2) 上記検出するステップは、上記複数の光信号の少なくとも1つを電気信号に変換するステップと、上記電気信号における上記光信号のビットレートに対応する周波数成分のパワーを検出するステップとを含む付記1記載の方法。

【0092】(付記3) 上記伝送するステップは線形中継装置を提供するステップを含む付記1記載の方法。

【0093】(付記4) 上記線形中継装置における上記複数の光信号の少なくとも1つに関連する波長分散を検出するステップと、検出された波長分散が小さくなるように波長分散量を及び分散スロープ量が制御される可変分散補償器を提供するステップとを更に備えた付記3記載の方法。

【0094】(付記5) 上記線形中継装置における上記複数の光信号の少なくとも1つに関連する波長分散を検出するステップと、検出された波長分散が小さくなるように波長分散量が制御される可変分散補償器を提供するステップと、分散スロープを補償する分散スロープ補償器を提供するステップとを更に備えた付記3記載の方法。

【0095】(付記6) 上記生成するステップは、上記複数の光信号の少なくとも1つに関連する波長分散を検出するステップと、検出された波長分散が小さくなるように波長分散量が制御される可変分散補償器を提供するステップと、分散スロープを補償する分散スロープ補償器を提供するステップとを含む付記1記載の方法。

【0096】(付記7) 異なる波長を有する複数の光信号を波長分割多重してWDM信号光を生成するステップと、上記WDM信号光を光ファイバ伝送路により伝送するステップと、上記光ファイバ伝送路により伝送され

たWDM信号光を受信するステップとを備え、上記受信するステップは、上記複数の光信号の少なくとも1つに関連する波長分散を検出するステップと、検出された波長分散が小さくなるように波長分散量が制御される可変分散補償器を提供するステップと、分散スロープを補償する分散スロープ補償器を提供するステップとを含む方法。(2)

(付記8) 上記検出するステップは、上記複数の光信号の少なくとも1つを電気信号に変換するステップと、上記電気信号における上記光信号のビットレートに対応する周波数成分のパワーを検出するステップとを含む付記7記載の方法。

【0097】(付記9) 上記伝送するステップは線形中継装置を提供するステップを含む付記7記載の方法。

【0098】(付記10) 上記線形中継装置における上記複数の光信号の少なくとも1つに関連する波長分散を検出するステップと、検出された波長分散が小さくなるように波長分散量を及び分散スロープ量が制御される可変分散補償器を提供するステップとを更に備えた付記9記載の方法。

【0099】(付記11) 上記線形中継装置における上記複数の光信号の少なくとも1つに関連する波長分散を検出するステップと、検出された波長分散が小さくなるように波長分散量が制御される可変分散補償器を提供するステップと、分散スロープを補償する分散スロープ補償器を提供するステップとを更に備えた付記9記載の方法。

【0100】(付記12) 上記生成するステップは、上記複数の光信号の少なくとも1つに関連する波長分散を検出するステップと、検出された波長分散が小さくなるように波長分散量が制御される可変分散補償器を提供するステップと、分散スロープを補償する分散スロープ補償器を提供するステップとを含む付記7記載の方法。

【0101】(付記13) 異なる波長を有する複数の光信号を波長分割多重してWDM信号光を生成する送信端局装置と、上記WDM信号光を伝送する光ファイバ伝送路と、上記光ファイバ伝送路により伝送されたWDM信号光を受信する受信端局装置とを備え、上記受信端局装置は、上記複数の光信号の少なくとも1つに関連する波長分散を検出する分散モニタと、可変分散補償器と、検出された波長分散が小さくなるように上記可変分散補償器の波長分散量及び分散スロープ量を制御する回路とを含むシステム。(3)

(付記14) 上記分散モニタは、上記複数の光信号の少なくとも1つを電気信号に変換する変換器と、上記電気信号における上記光信号のビットレートに対応する周波数成分を抽出するバンドパスフィルタと、上記周波数成分のパワーを検出するパワーセンサとを含む付記13記載のシステム。

【0102】(付記15) 異なる波長を有する複数の

光信号を波長分割多重してWDM信号光を生成する送信端局装置と、上記WDM信号光を伝送する光ファイバ伝送路と、上記光ファイバ伝送路により伝送されたWDM信号光を受信する受信端局装置とを備え、上記受信端局装置は、上記複数の光信号の少なくとも1つに関連する波長分散を検出する分散モニタと、可変分散補償器と、検出された波長分散が小さくなるように上記可変分散補償器の波長分散量を制御する回路と、分散スロープを補償する分散スロープ補償器とを含むシステム。(4)

(付記16) 上記分散モニタは、上記複数の光信号の少なくとも1つを電気信号に変換する変換器と、上記電気信号における上記光信号のビットレートに対応する周波数成分を抽出するバンドパスフィルタと、上記周波数成分のパワーを検出するパワーセンサとを含む付記15記載のシステム。

【0103】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によると、WDM伝送システムにおいて高速化に適した波長分散を補償する方法及びシステムの提供が可能になるという効果が生じる。

【図面の簡単な説明】

【図1】図1はシステムの第1実施形態を示すブロック図である。

【図2】図2はシステムの第2実施形態を示すブロック図である。

【図3】図3はシステムの第3実施形態を示すブロック図である。

【図4】図4はシステムの第4実施形態を示すブロック図である。

【図5】図5は温度及び伝送距離による波長分散の変化を説明するためのグラフである。

【図6】図6は受信端局装置の第1実施形態を示すブロック図である。

【図7】図7は可変分散補償器の構成例を示す図である。

【図8】図8は分散モニタの動作原理を説明するための計算結果のグラフである。

【図9】図9は分散モニタの動作原理を説明するための実験結果のグラフである。

【図10】図10は受信端局装置の第2実施形態を示すブロック図である。

【図11】図11は受信端局装置の第3実施形態を示すブロック図である。

【図12】図12は受信端局装置の第4実施形態を示すブロック図である。

【図13】図13は受信端局装置の第5実施形態を示すブロック図である。

【図14】図14は受信端局装置の第6実施形態を示すブロック図である。

【図15】図15は受信端局装置の第7実施形態を示す

ブロック図である。

【図16】図16は受信端局装置の第8実施形態を示すブロック図である。

【図17】図17は受信端局装置の第9実施形態を示すブロック図である。

【図18】図18は受信端局装置の第10実施形態を示すブロック図である。

【図19】図19はPMD補償器の実施形態を示すブロック図である。

【図20】図20は線形中継装置に適用可能な分散補償器の第1実施形態を示すブロック図である。

【図21】図21は線形中継装置に適用可能な可変分散補償器の第2実施形態を示すブロック図である。

【図22】図22は線形中継装置に適用可能な可変分散補償器の第3実施形態を示すブロック図である。

【図23】図23は線形中継装置に適用可能な可変分散補償器の第4実施形態を示すブロック図である。

【図24】図24は線形中継装置の実施形態を示すブロック図である。

【図25】図25は送信端局装置の第1実施形態を示すブロック図である。

【図26】図26は送信端局装置の第2実施形態を示すブロック図である。

【図27】図27は送信端局装置の第3実施形態を示すブロック図である。

【図28】図28は送信端局装置の第4実施形態を示すブロック図である。

【図29】図29は送信端局装置の第5実施形態を示すブロック図である。

【図30】図30はシステムにおける波長分散のフィードバック制御の一例を説明するためのブロック図である。

【図31】図31はシステムにおける波長分散のフィードバック制御の他の例を説明するためのブロック図である。

【図32】図32は受信端局装置の第11実施形態を示すブロック図である。

【図33】図33は受信端局装置の第12実施形態を示すブロック図である。

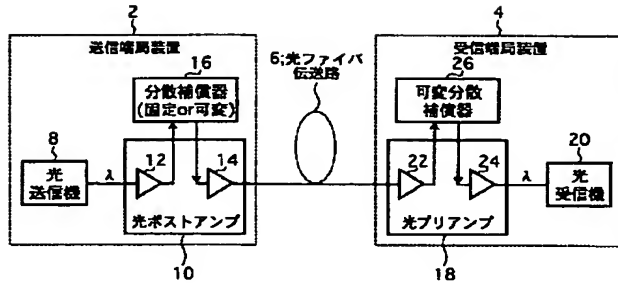
【符号の説明】

- 2 送信端局装置
- 4 受信端局装置
- 6 光ファイバ伝送路
- 8 光送信機
- 10 光ポストアンプ
- 16 固定又は可変の分散補償器
- 18 光プリアンプ
- 20 光受信機
- 26 可変分散補償器
- 28 線形中継装置

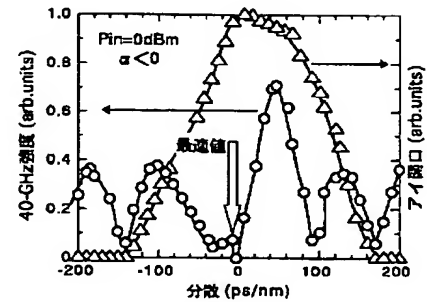
30 光インラインアンプ

36 固定又は可変の分散補償器

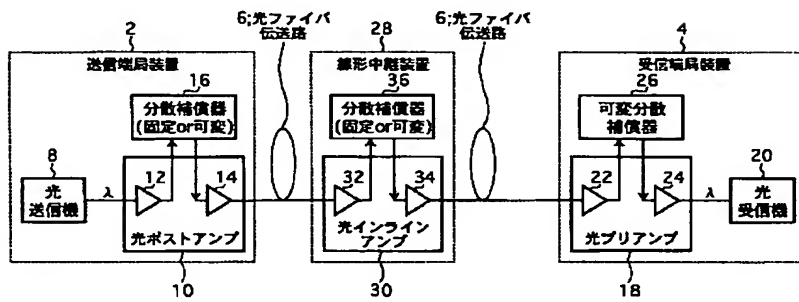
【図1】



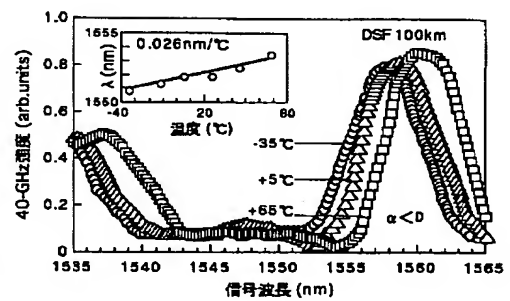
【図8】



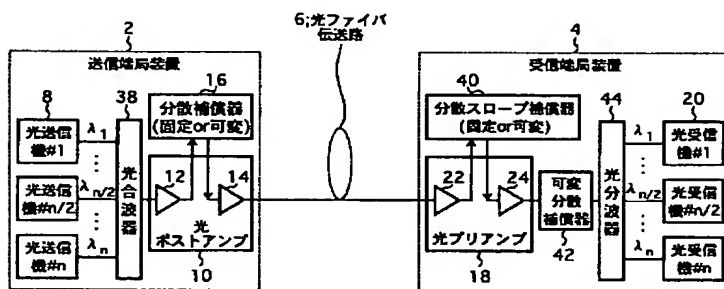
【図2】



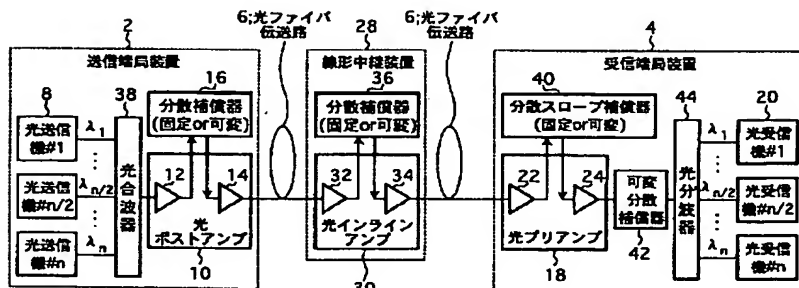
【図9】



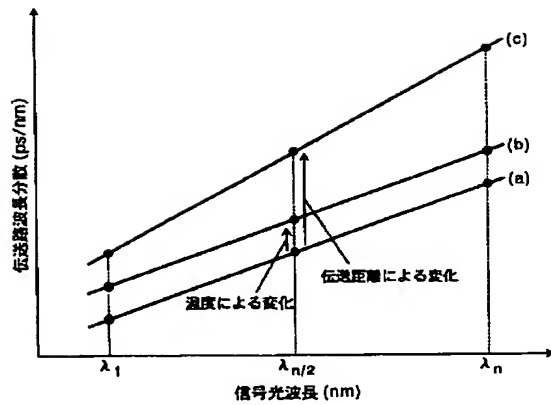
【図3】



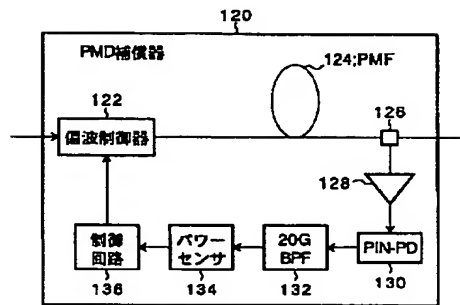
【図4】



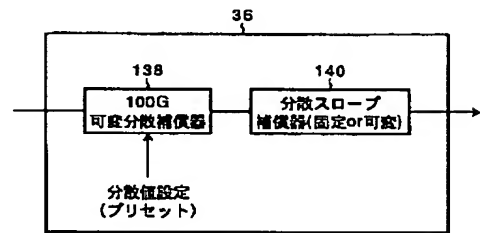
【図5】



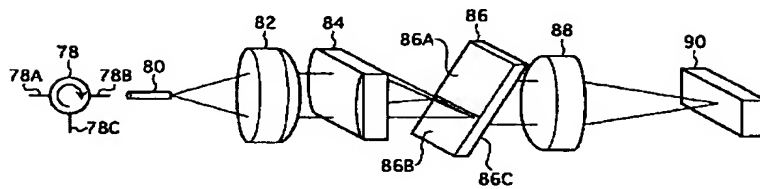
【図19】



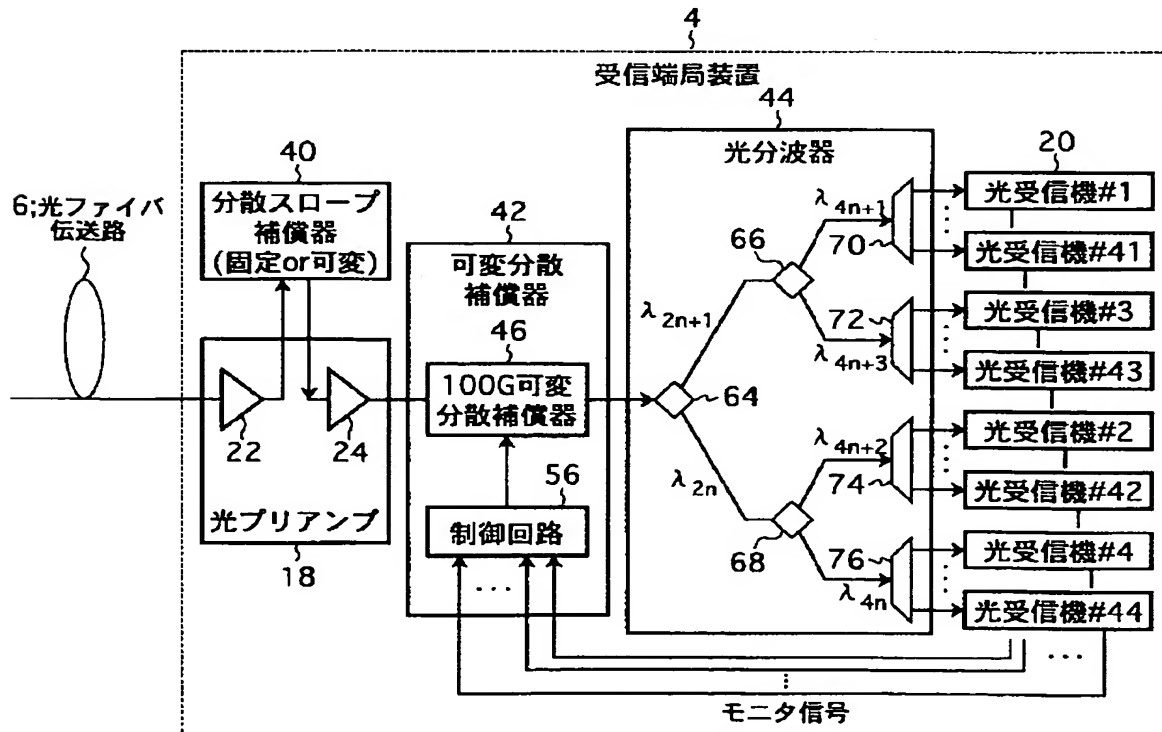
【図20】



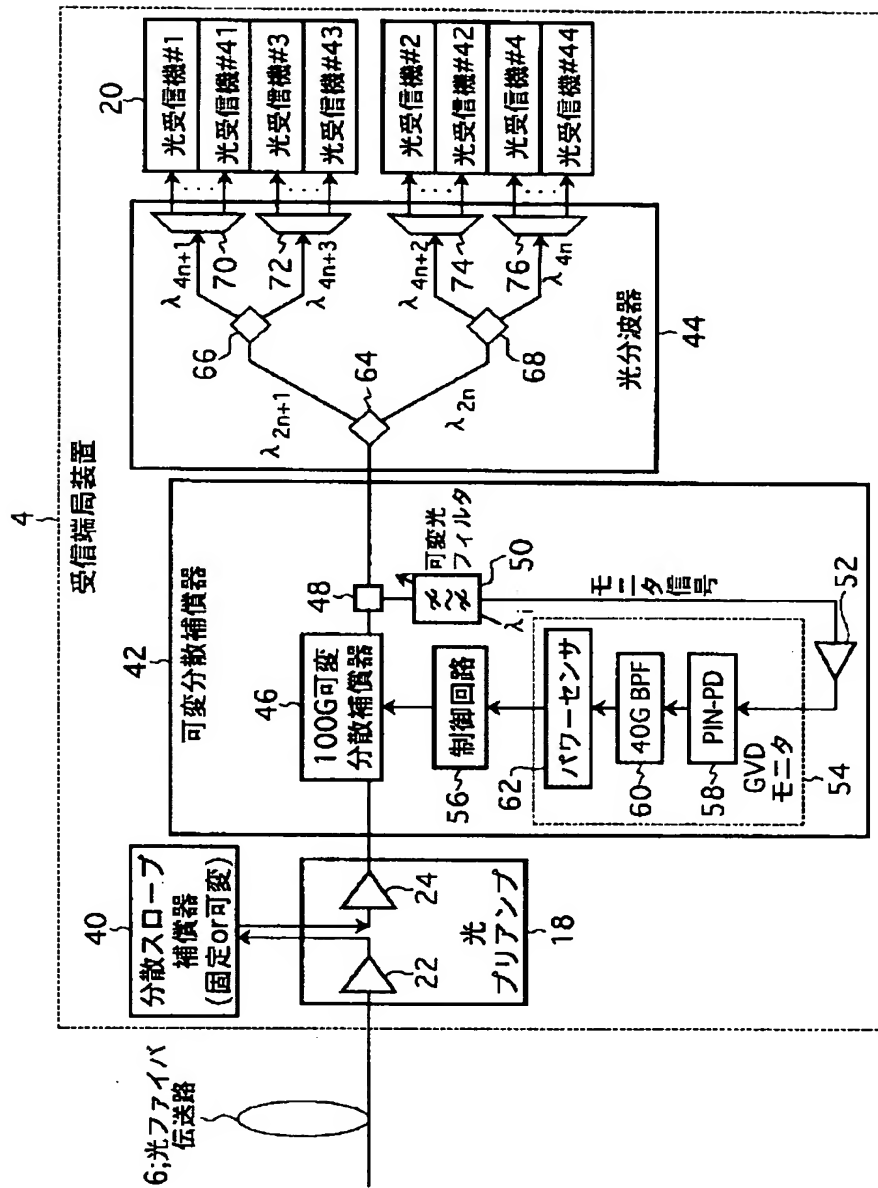
【図7】



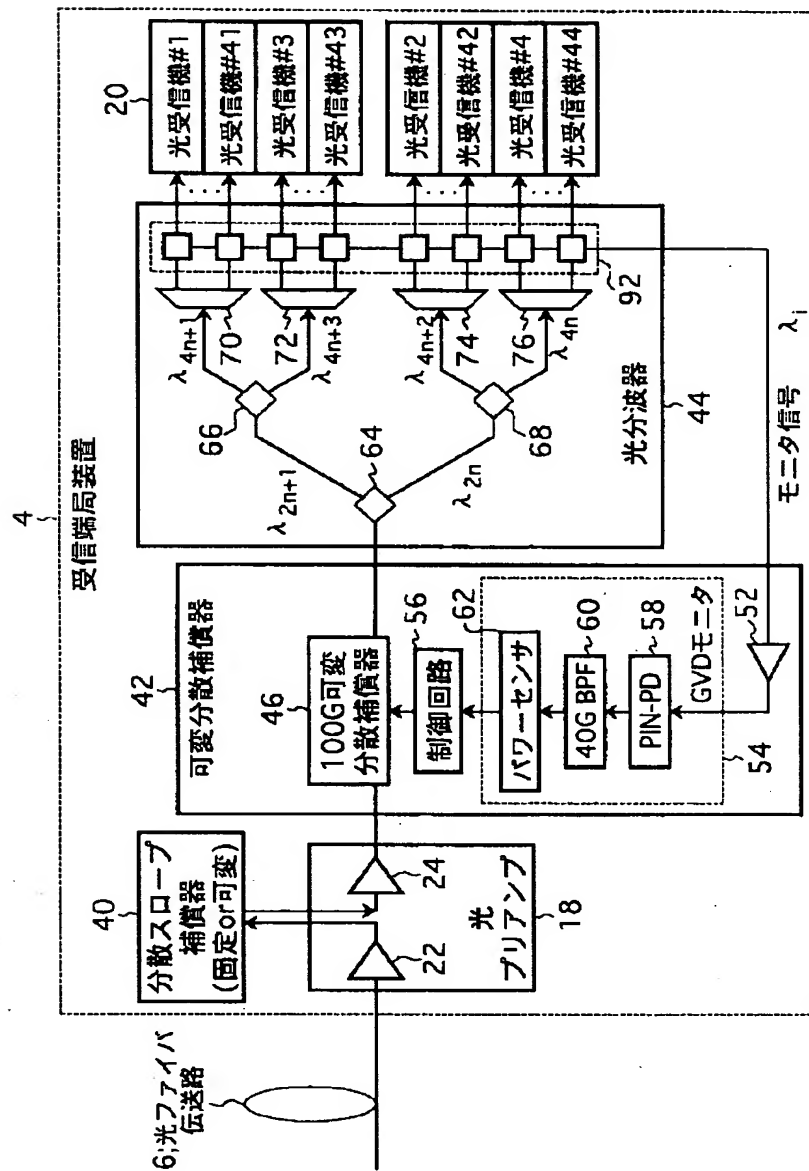
【図11】



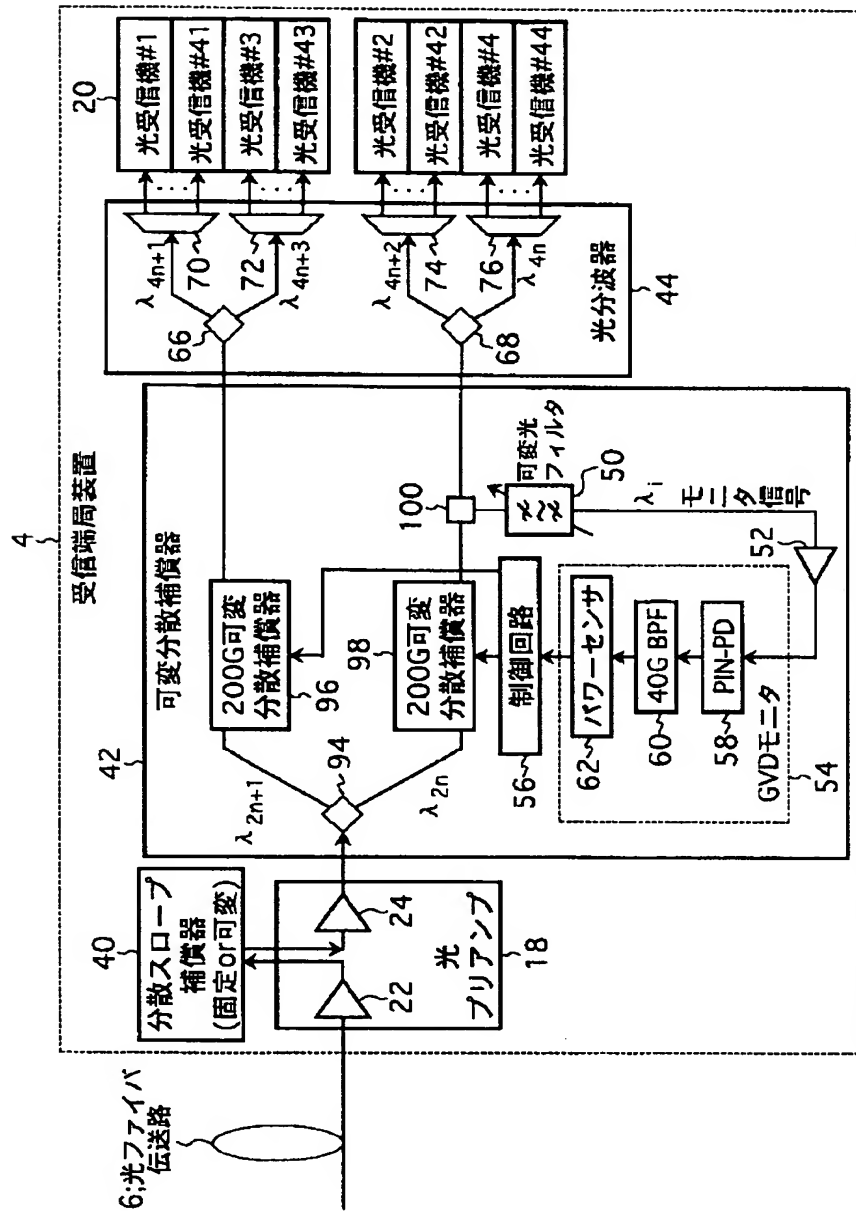
【図6】



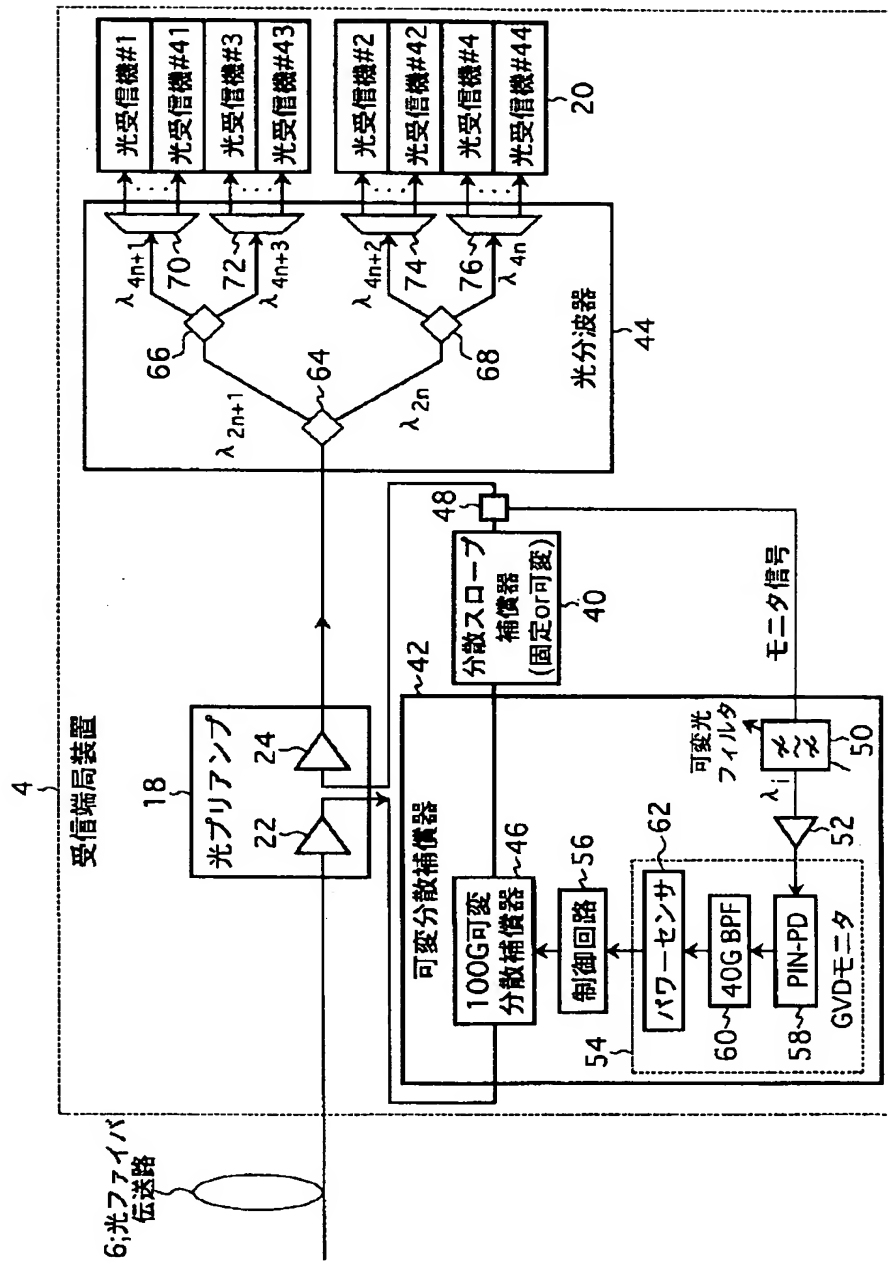
【図10】



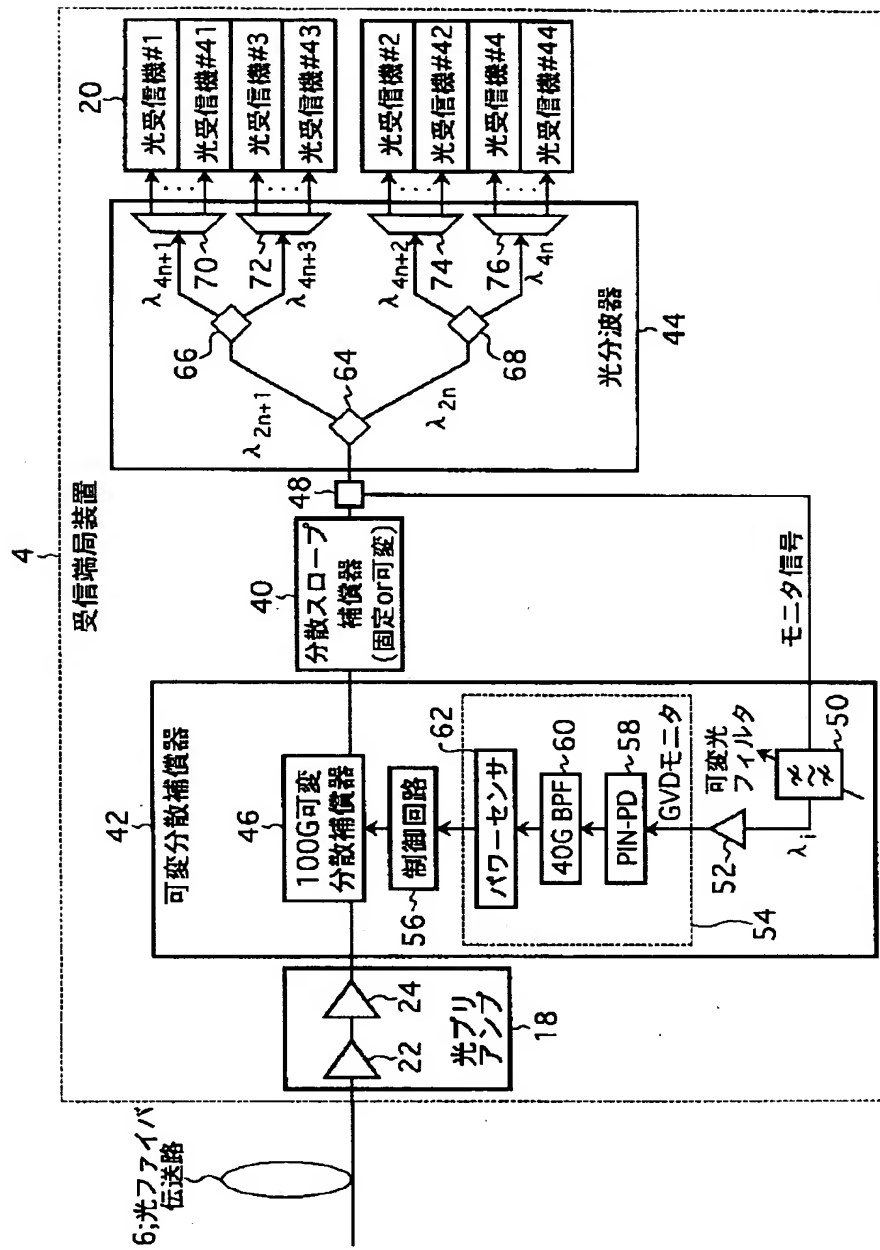
【図12】



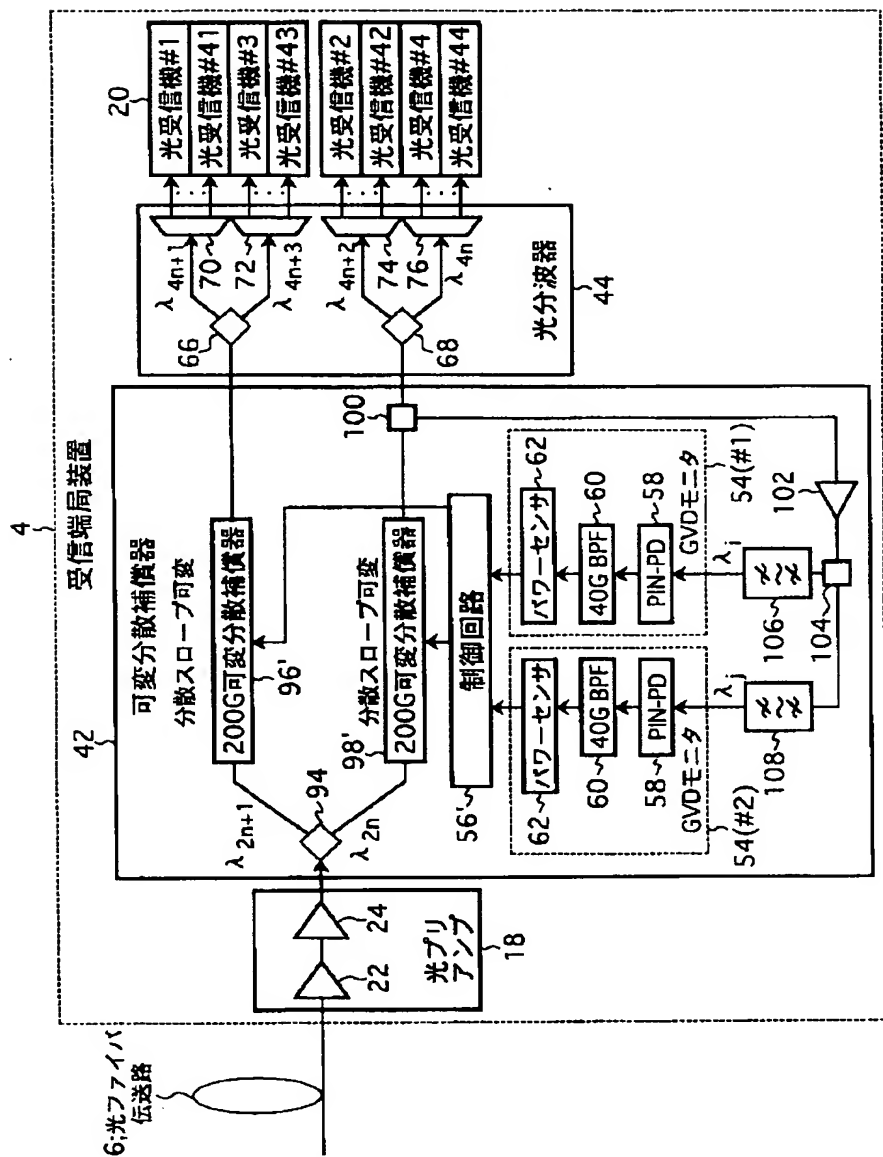
【図13】



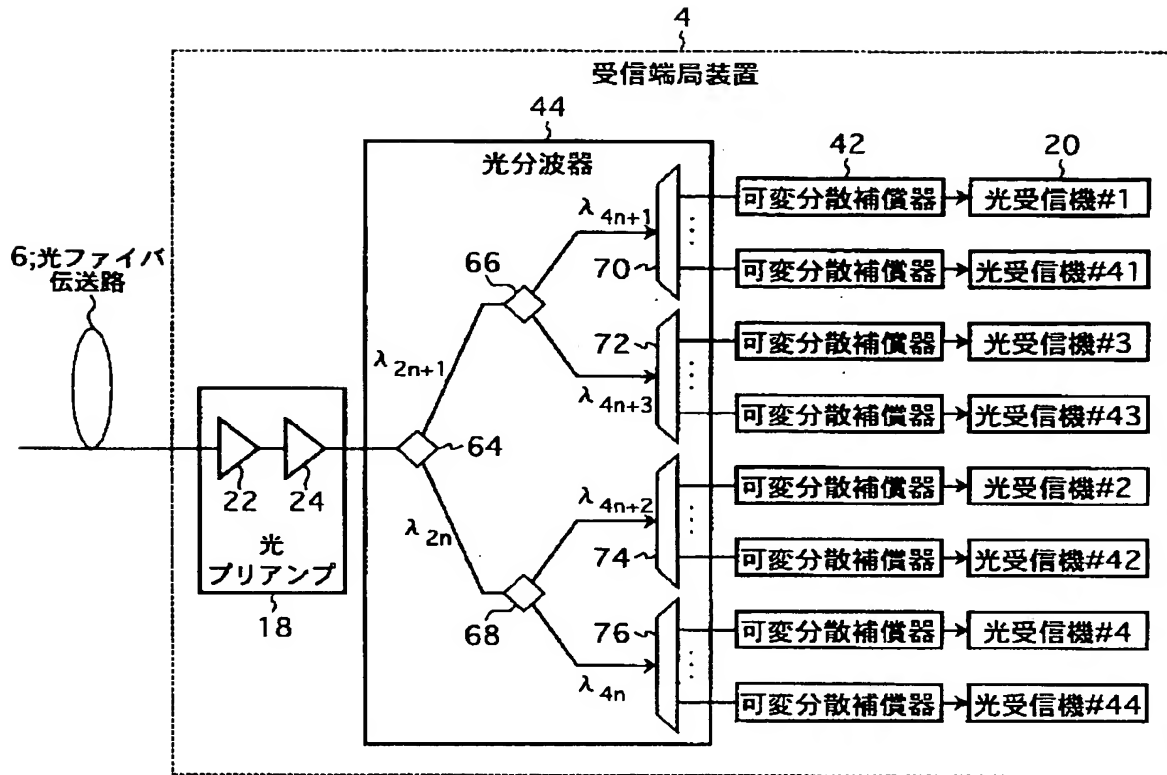
【図14】



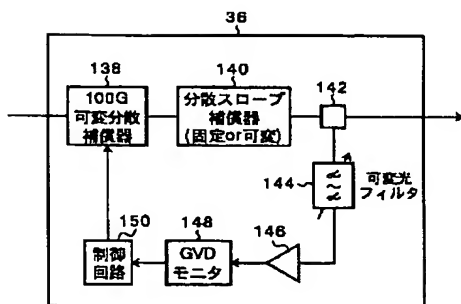
【図15】



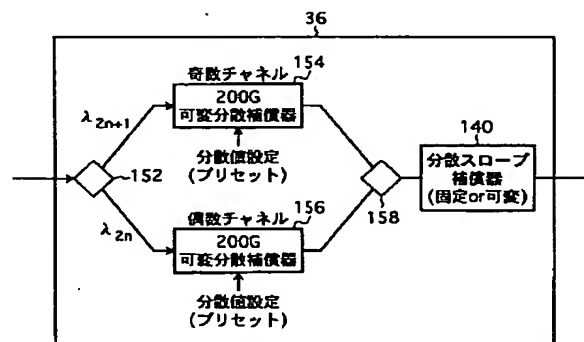
【図16】



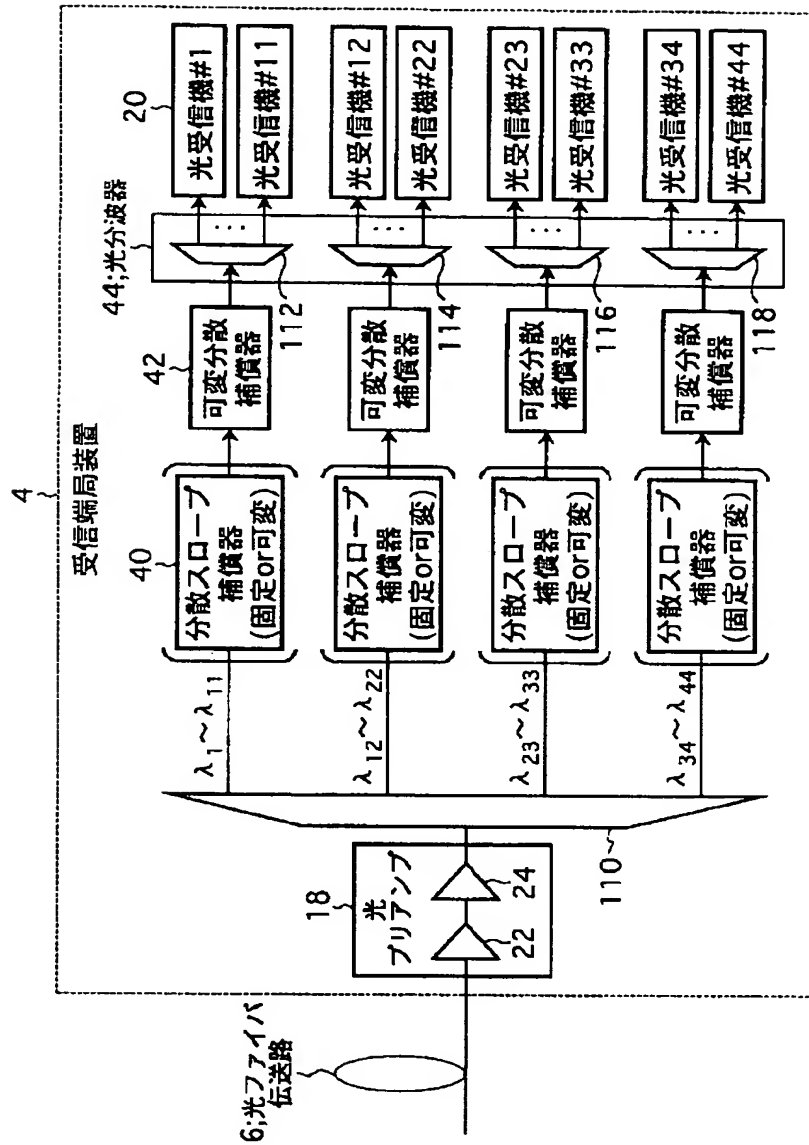
【図21】



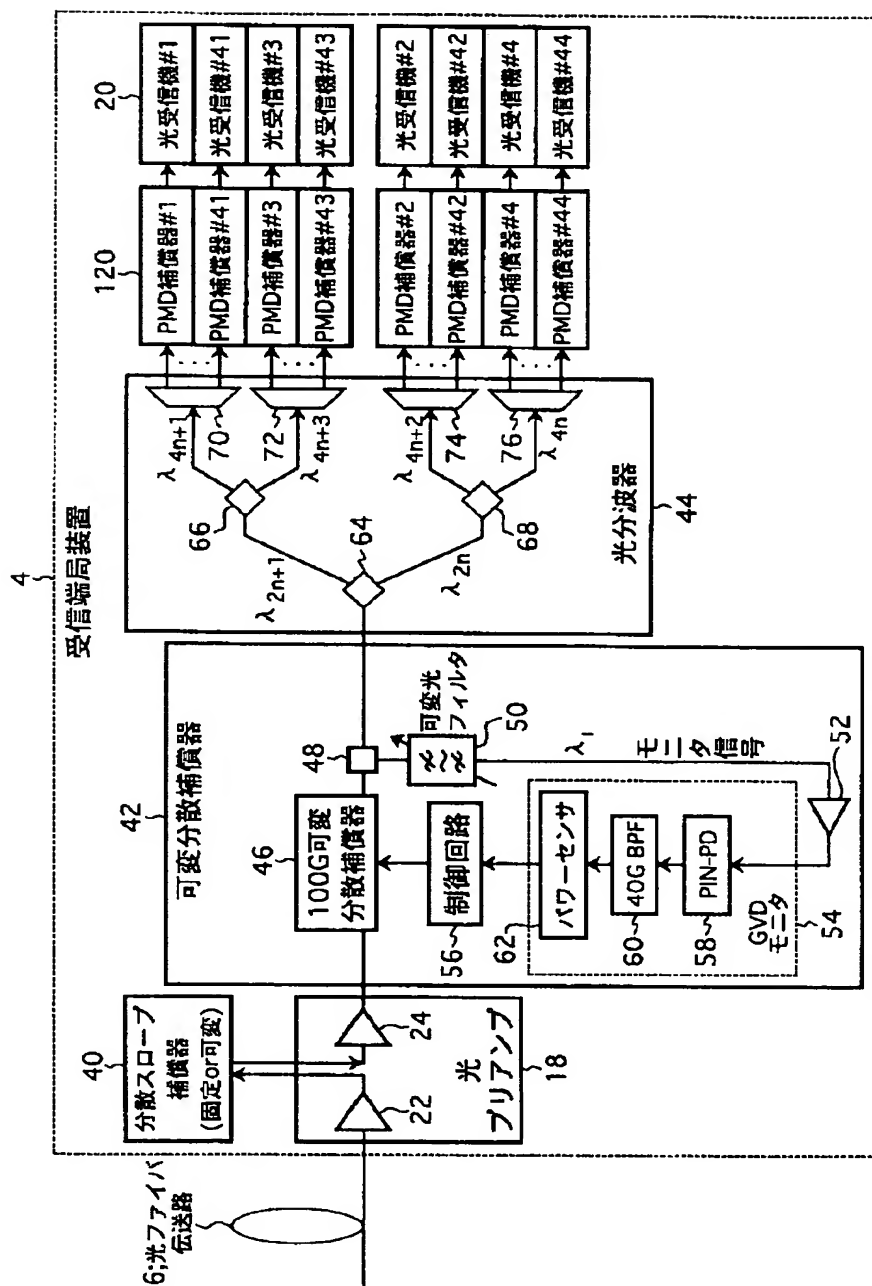
【図22】



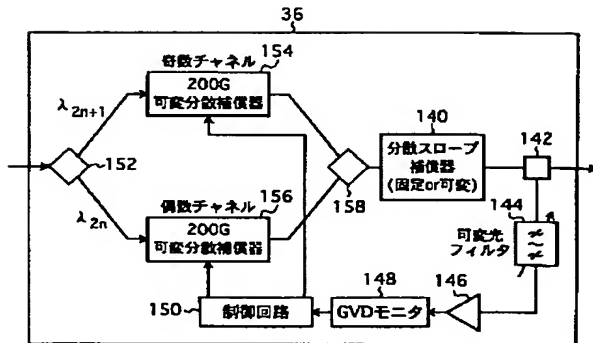
【図17】



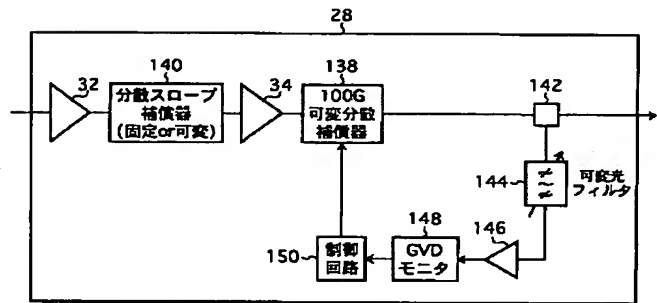
【図18】



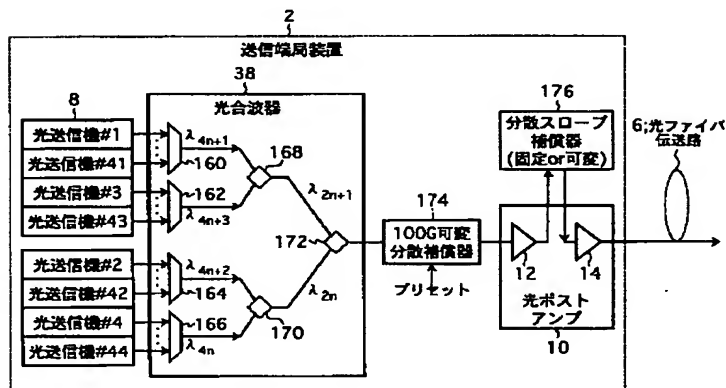
【図23】



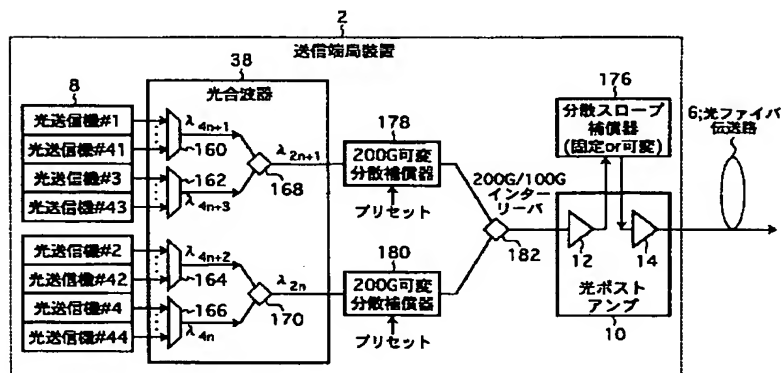
【図24】



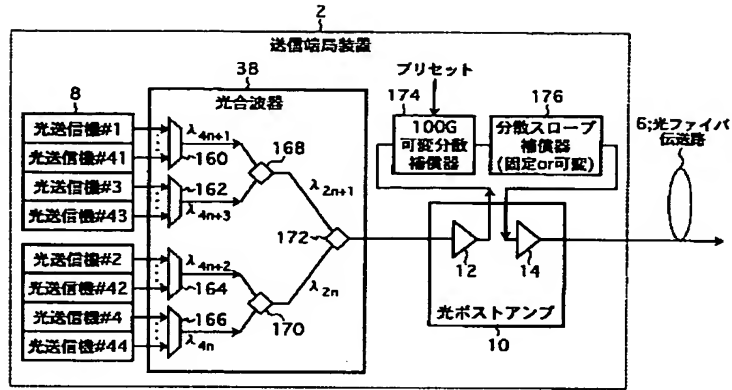
【図25】



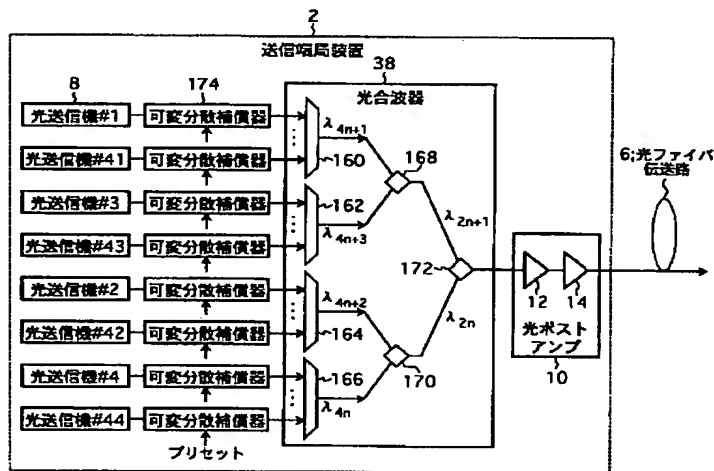
【図26】



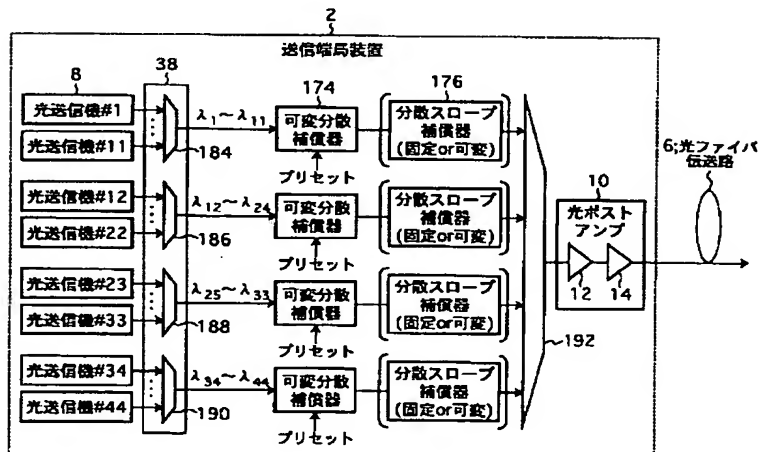
【図27】



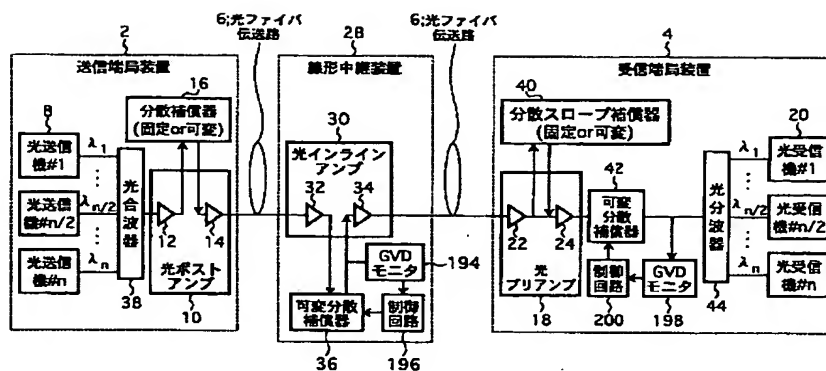
【図28】



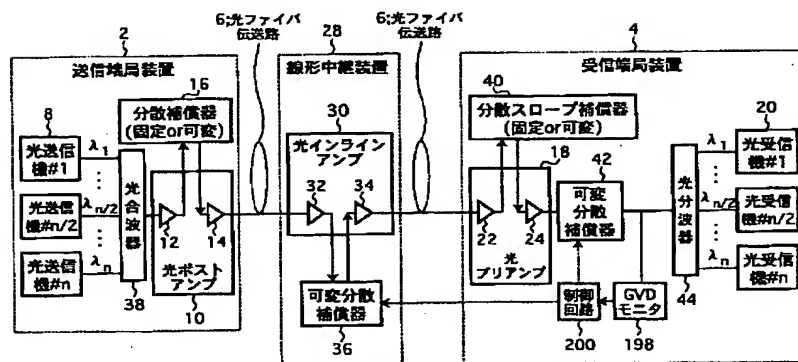
【図29】



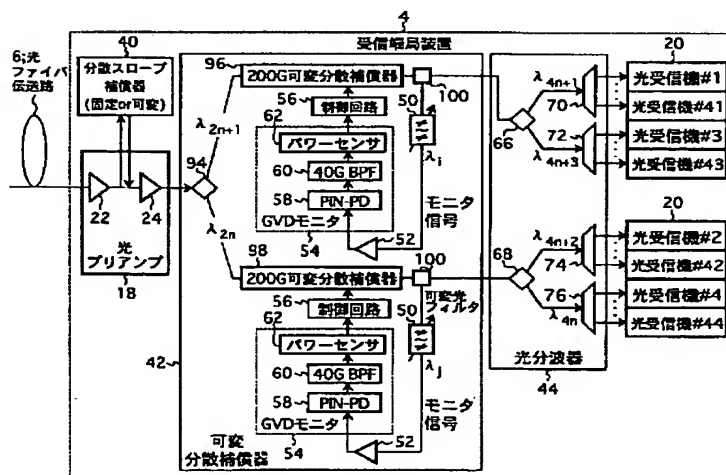
【図30】



【図31】



【図32】



【図33】

